1.1. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

1.1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Предлагаемый материал не претендует на полноту освещения всего раздела структуры механизмов курса теории механизмов и машин, а обращает внимание читателя либо на некоторые из тонких вопросов, не освещаемых вовсе, либо на такие вопросы, которые часто ускользают от внимания студентов не только в процессе изучения, но и в дальнейшей деятельности.

Как известно, структурный анализ выполняется с целью определения класса механизма, его строения и проводится по следующему алгоритму.

Вычерчивается исходная схема механизма и подсчитывается его степень подвижности по формуле П.Л. Чебышева. Выявляются, если таковые имеются, звенья образующие пассивные связи и вносящие лишние степени свободы. При наличие пар IV класса, выполняется их замена двумя кинематическими парами V-го класса и одним звеном. В таблице 1.1.1 представлены примеры таких замен. После этого отдельно изображается схема заменяющего механизма без пассивных связей и вычисляется его подвижность.

Выбирается начальное звено, если оно не оговорено условиями задачи. Производится отделение группы Ассура, начиная с наиболее удаленной от начального звена и возможно более низкого класса (второго). При этом оставшаяся кинематическая цепь должна сохранять степень подвижности заменяющего механизма. Если не удается отделить группу второго класса (так как ее отделение приводит к тому, что оставшаяся часть механизма имеет подвижность выше исходного заменяющего или теряется определенность движения его звеньев), то следует попытаться отделить структурную группу более высокого класса. Разложение механизма на структурные группы проводится до тех пор, пока не останется механизм 1-го класса. Затем определяется класс, вид и порядок этих групп, после чего определяется класс всего механизма.

Таблица 1.1.1

Примеры замены высших кинематических пар низшими

Наименование	Элементы кинематических пар	Замена кинематической пары	Пример использования пары в механизмах	Замена кинематической пары
Две выпуклые кривые				
Одна выпуклая другая вогнутая кривая				
Выпуклая кривая и прямая				
Выпуклая кривая и точка				
Прямая линия и точка				

определяется класс всего механизма. Уместным будет напомнить, что структурной группой (группой Ассура) называется кинематическая цепь с нулевой подвижностью относительно внешних кинематических пар и не распадающаяся на более простые с такими же свойствами. Группы делятся на классы, которые определяются количеством внутренних кинематических пар, образующих исходный контур, они имеют также порядок, определяемый количеством внешних кинематических пар. Кроме того, структурные группы Ассура II класса делятся на виды (табл. 1.1.2). Класс всего механизма определяется наивысшим из класса групп, входящих в его состав.

Составляется формула строения механизма (см. табл. 2), для чего используется следующая форма записи групп Ассура:

$$A_{bc}(d, k, l\ldots),$$

где A – арабская цифра соответствующая классу группы;

b – виду группы,

c – порядку группы;

d, k, l – номерам звеньев образующих группу.

Выполним структурный анализ изображенного на рис.1.1.1 механизма в соответствии с вышеописанным алгоритмом.

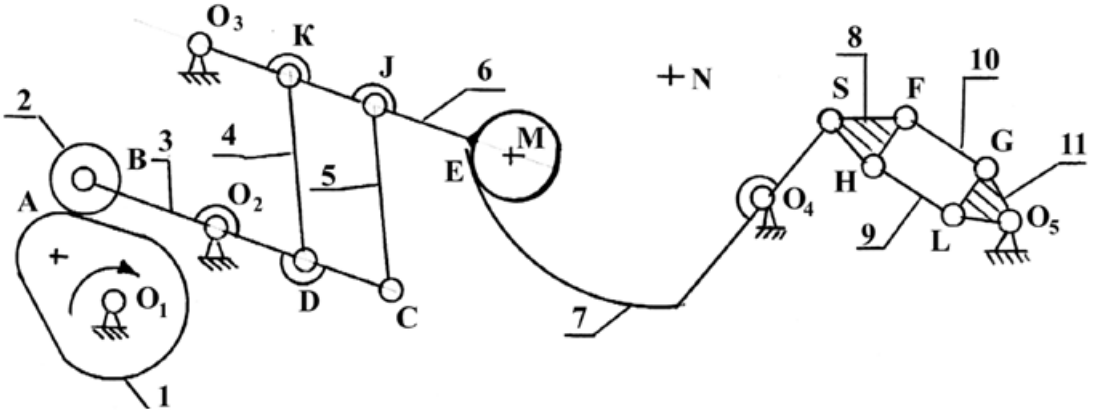


Рис.1.1.1. Схема исходного механизма

Определим подвижность исходного механизма по формуле

$$W = 3n - 2p_1 - p_2, \qquad (1)$$

где n – количество подвижных звеньев n = 11;

p_1 – количество кинематических пар 5-го класса;

$p_1 = 15$;

p_2 – количество кинематических пар 4-го класса, $p_4 = 2$.

$$W = 3 \cdot 11 - 2 \cdot 15 - 2 = 1.$$

Таблица 1.1.2

Структурные группы Ассура

№	Схема	Класс	Вид	Поря-док	Пример использования	Формула строения
1	2	3	4	5	6	7
1		2	1	2		$1–2_{12(2,3)}$
2		2	2	2		$1–2_{22(2,3)}$
3		2	3	2		$1–2_{32(2,3)}$
4		2	4	2		$1–2_{42(2,3)}$
5		2	5	2		$1–2_{52(2,3)}$
6		3	–	3		$1–3_{3(4,5,6,7)}$
7		3	–	3		$1–3_{3(2,3,4,5)}$
8		4	–	2		$1–4_{2(2,3,4,5)}$
9		5	–	3		$1–5_{3(2,3,4,5,6,7)}$

Избавимся от пассивных связей (ролика 2 и шатуна 4), выполним замену высших кинематических пар 4-го класса (A, F) парами 5-го класса воспользовавшись табл. 1.1.1. Полученный заменяющий механизм изобразим на рис. 1.1.2.

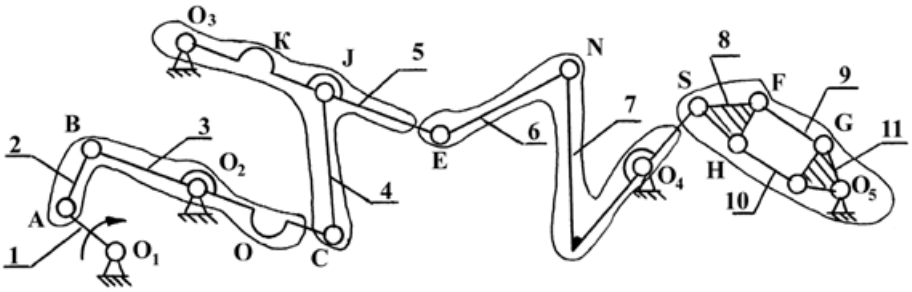


Рис. 1.1.2. Схема заменяющего механизма

По формуле (1) вычислим подвижность заменяющего механизма:

$$W = 3 \cdot 11 - 2 \cdot 16 = 1$$

Выделим структурные группы, начиная с наиболее удаленной от ведущего звена. Изобразим их отдельно, определим класс, порядок, вид, групп (рис. 1.1.3), здесь же укажем их формулу строения. Из рисунка видим, что рассматриваемый механизм является механизмом 4-го класса, так как наивысший класс из входящих в его состав групп – четвертый.

Остается только записать формулу строения всего механизма:

$$1_{(1)} \rightarrow 2_{12(1,2)} \rightarrow 2_{12(4,5)} \rightarrow 2_{12(4,5)} \rightarrow 2_{12(6,7)} \rightarrow 4_{2(9,10,11,12)}.$$

Из приведенного анализа следует, что рассматриваемая кинематическая цепь образована путем последовательного присоединения к механизму 1-го класса трех структурных групп 2-го класса и одной 4-го и в целом является механизмом 4-го класса.

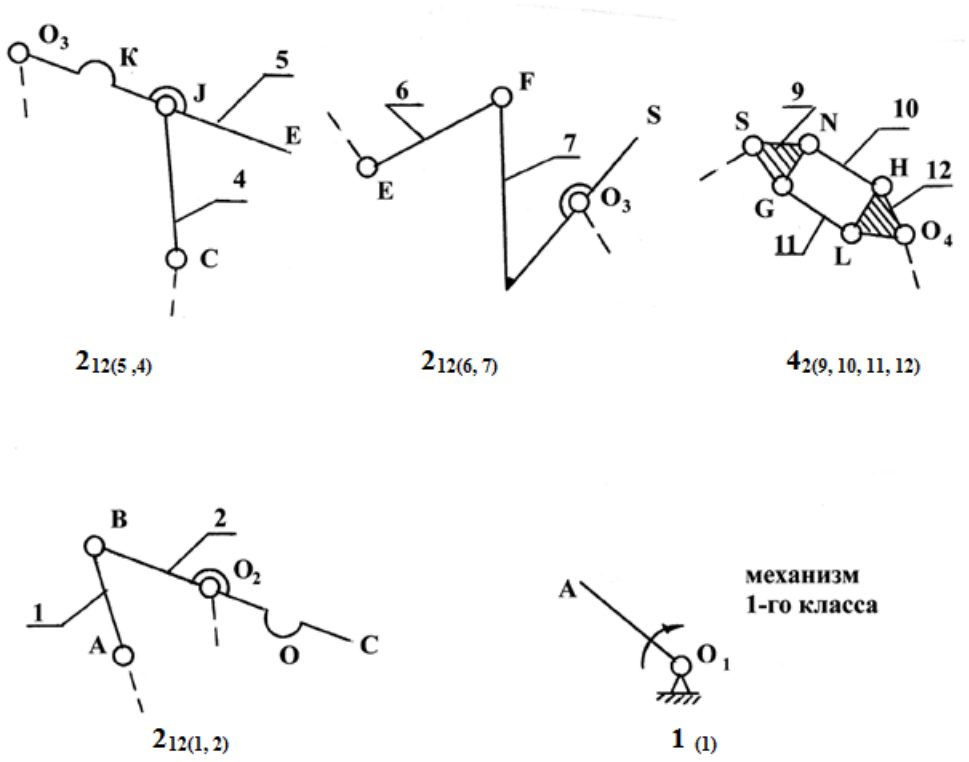
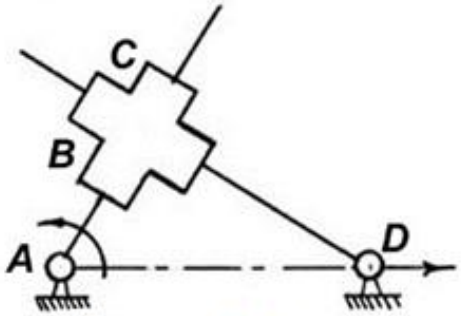


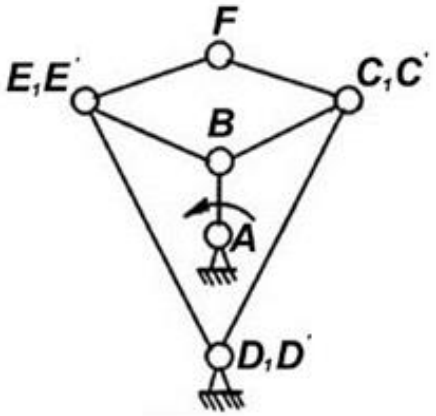
Рис. 1.1.3. Структурные группы

1.1.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

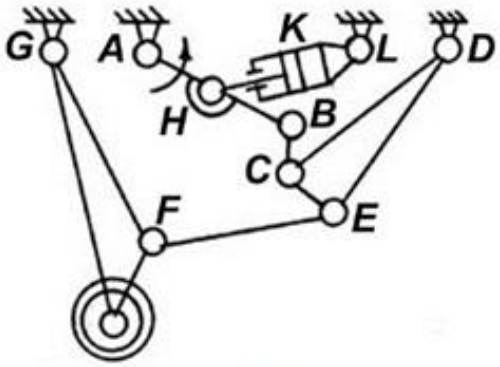
Во всех приведенных ниже задачах необходимо определить степень подвижности механизма и найти его класс. При наличии звеньев, создающих пассивные связи или лишние степени свободы, их удалить. Каждую кинематическую пару 4-го класса заменить одним звеном, входящим в две кинематические пары 5-го класса. Расчленить механизм на группы Ассура, написать формулу строения и указать его класс. Ведущие звенья отмечены стрелками. По уровням эти задачи распределены следующим образом: первый – с 1.1.1 по 1.1.8, второй – с 1.1.9 по 1.1.15; третий – с 1.1.16 по 1.1.26.



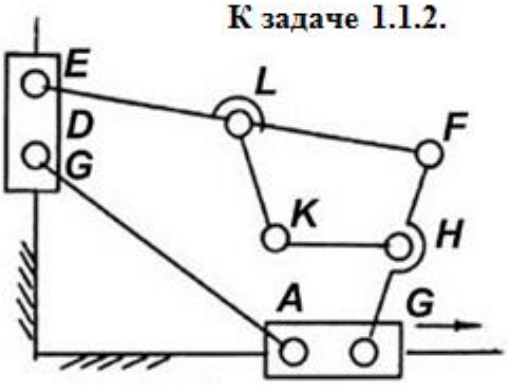
К задаче 1.1.1.



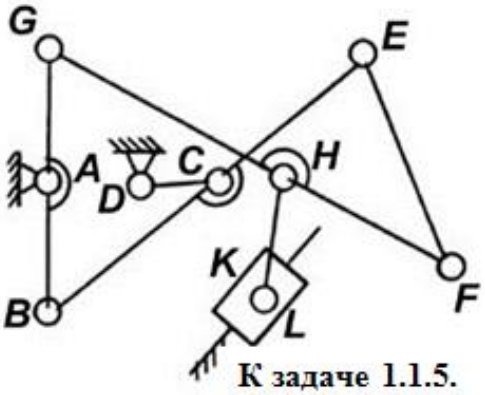
К задаче 1.1.2.



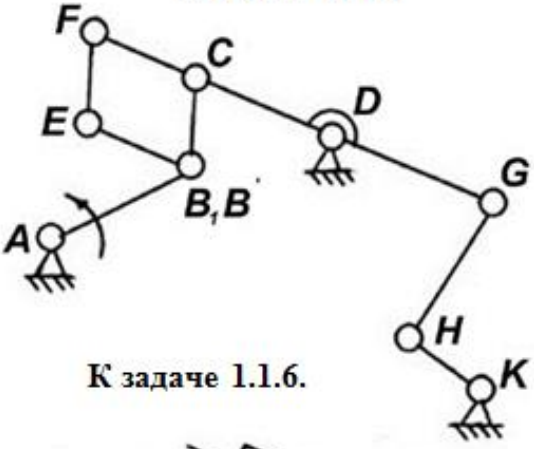
К задаче 1.1.3.



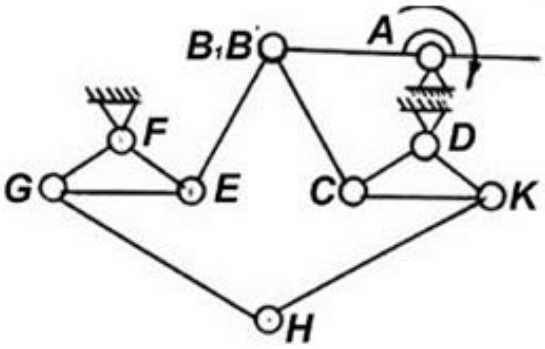
К задаче 1.1.4.



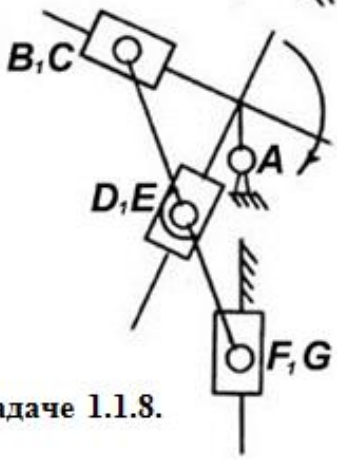
К задаче 1.1.5.



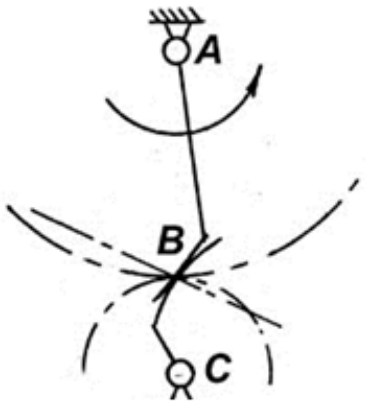
К задаче 1.1.6.



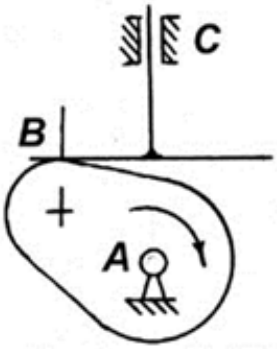
К задаче 1.1.7.



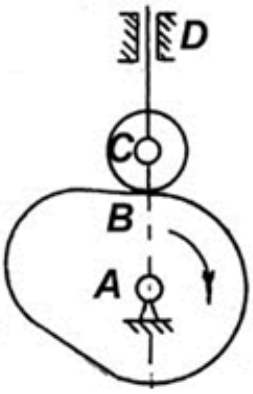
К задаче 1.1.8.



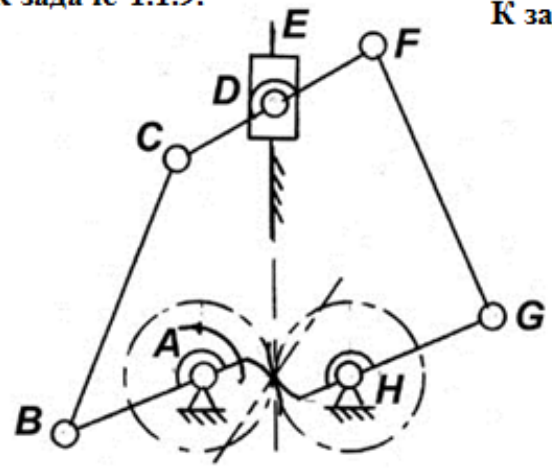
К задаче 1.1.9.



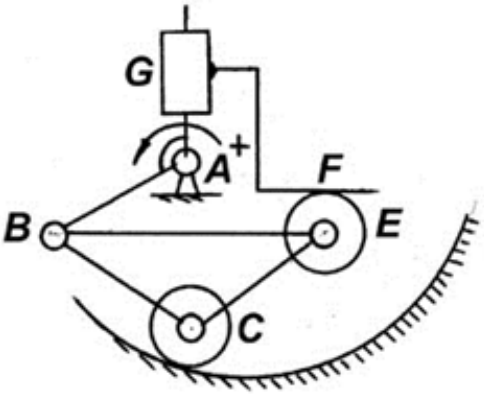
К задаче 1.1.10.



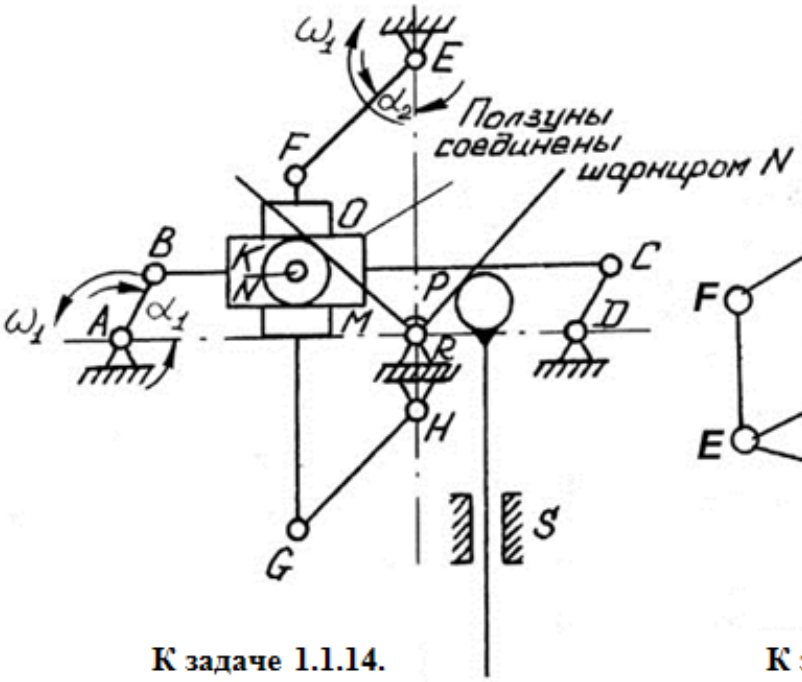
К задаче 1.1.11.



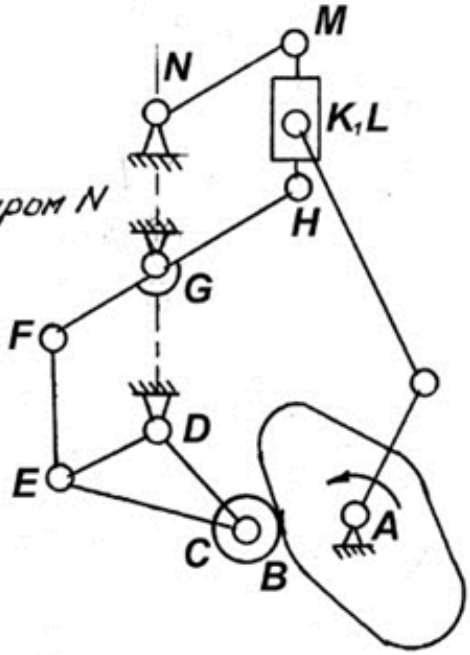
К задаче 1.1.12.



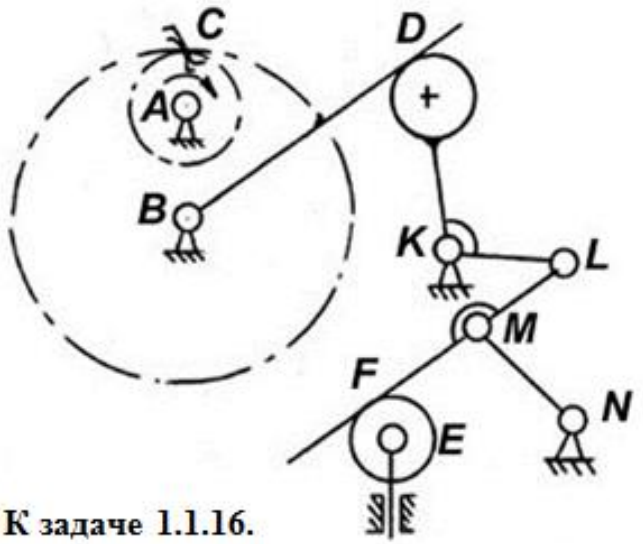
К задаче 1.1.13.



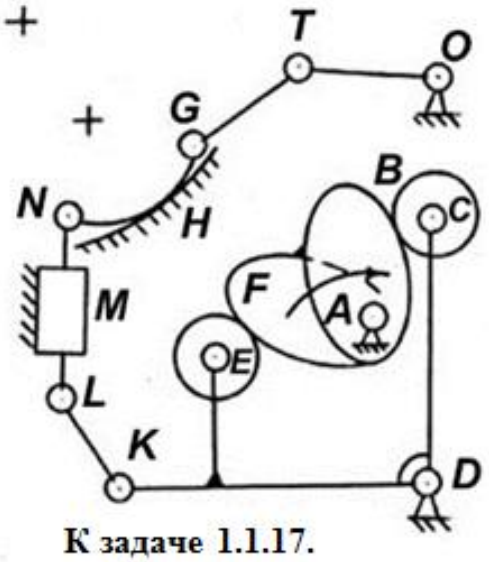
К задаче 1.1.14.



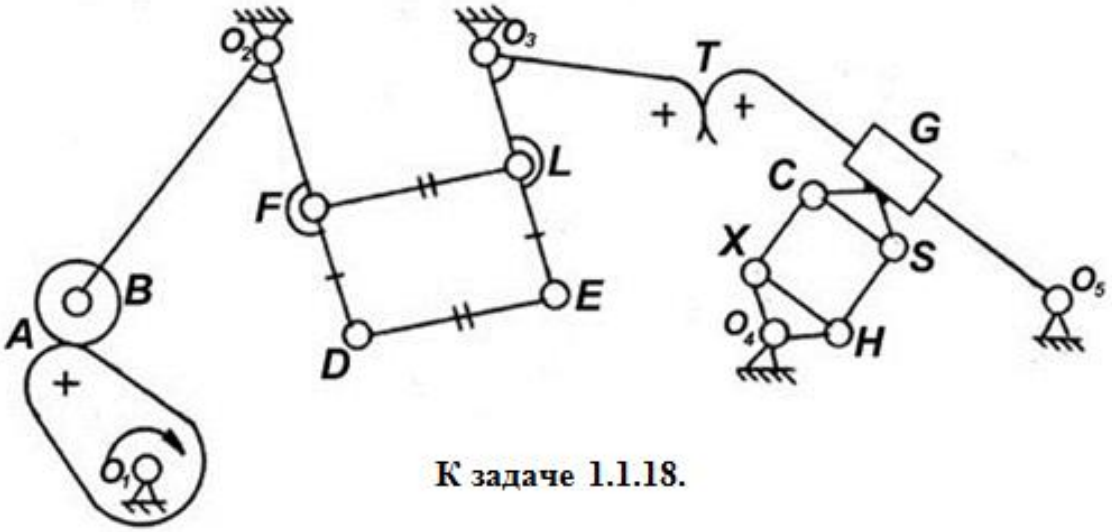
К задаче 1.1.15.



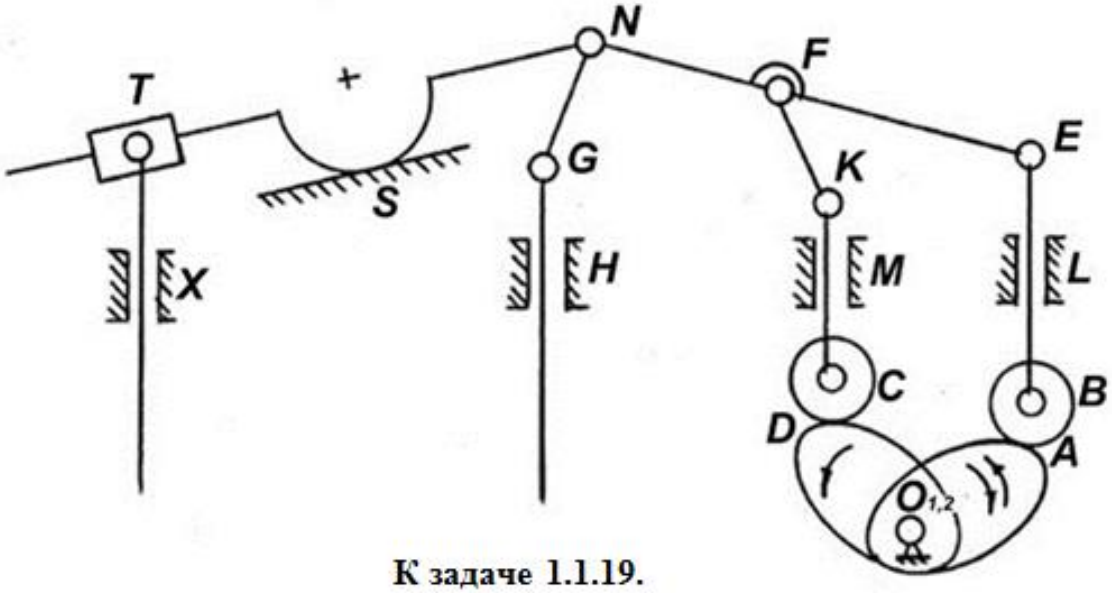
К задаче 1.1.16.



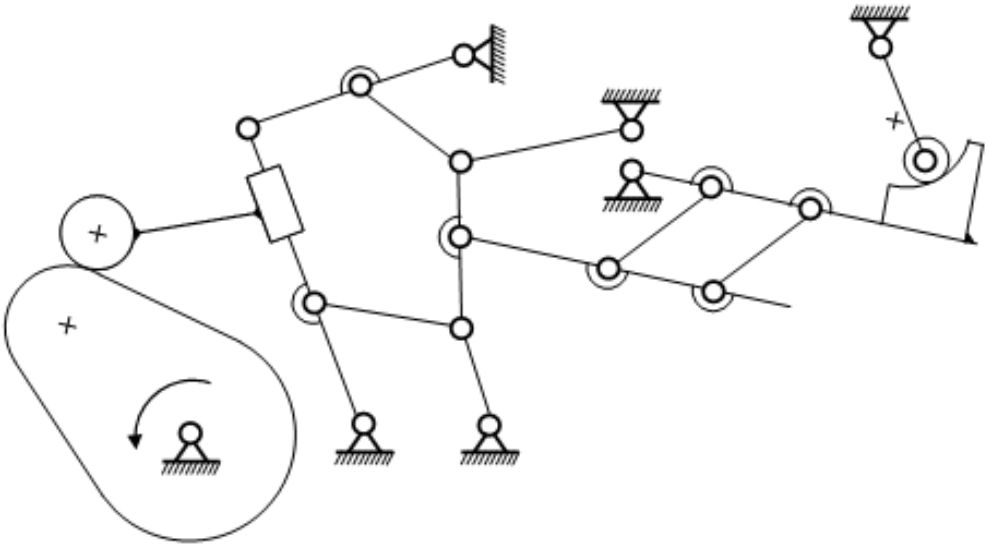
К задаче 1.1.17.



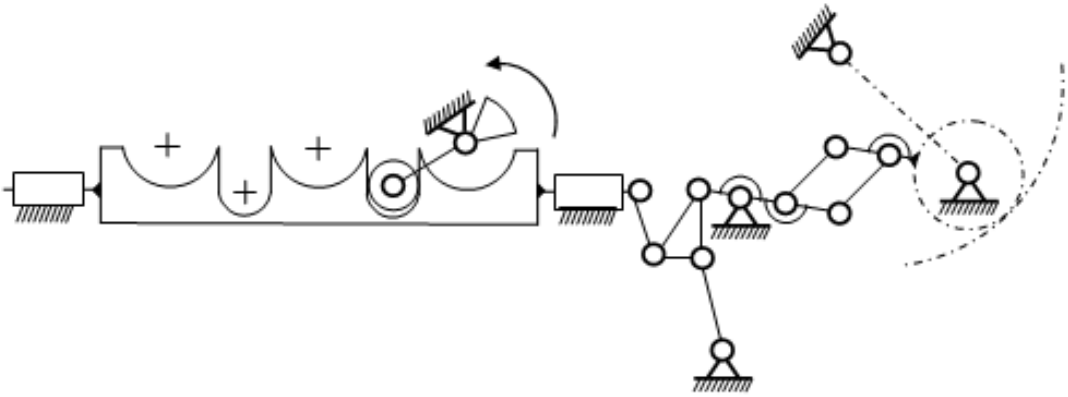
К задаче 1.1.18.



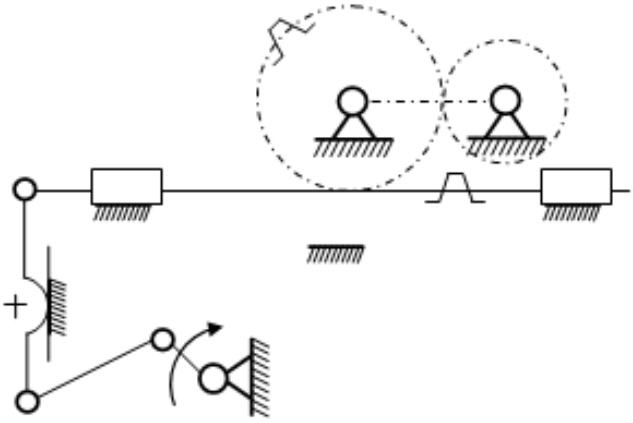
К задаче 1.1.19.



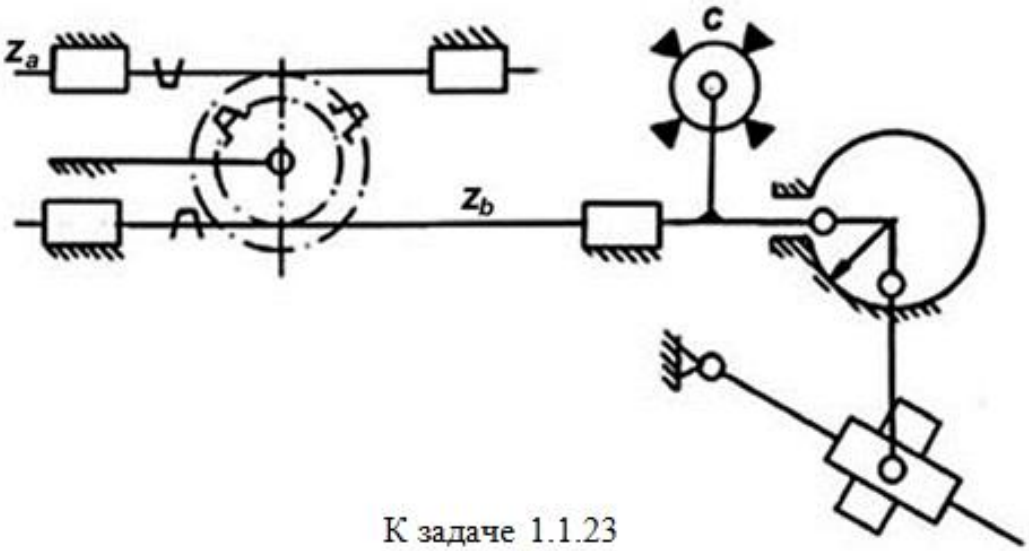
К задаче 1.1.20.



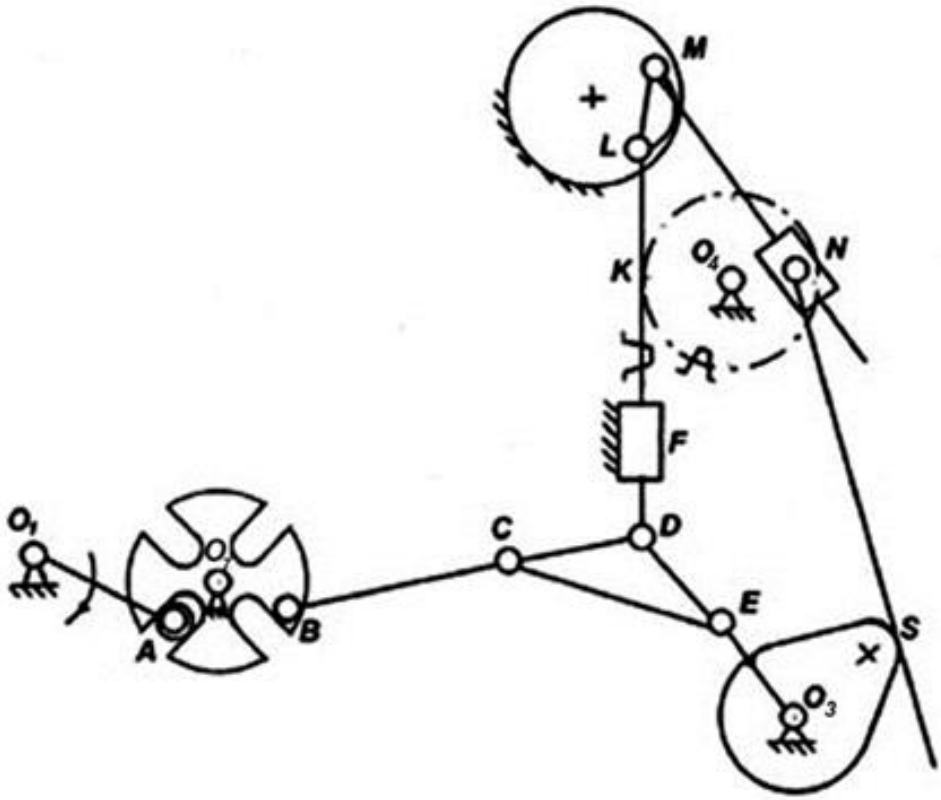
К задаче 1.1.21.



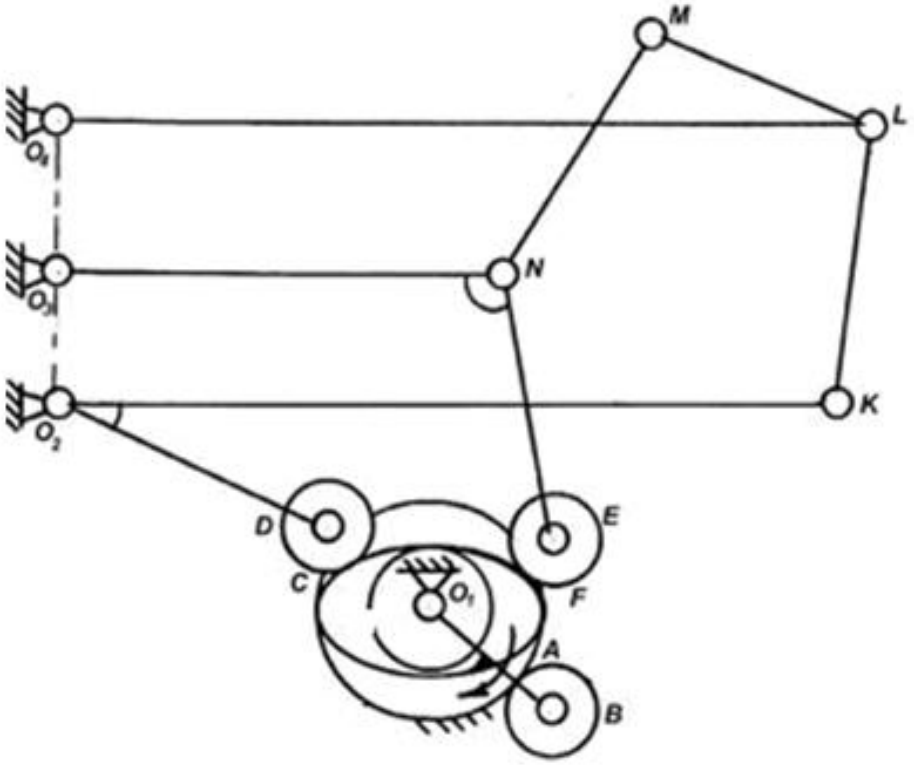
К задаче 1.1.22.



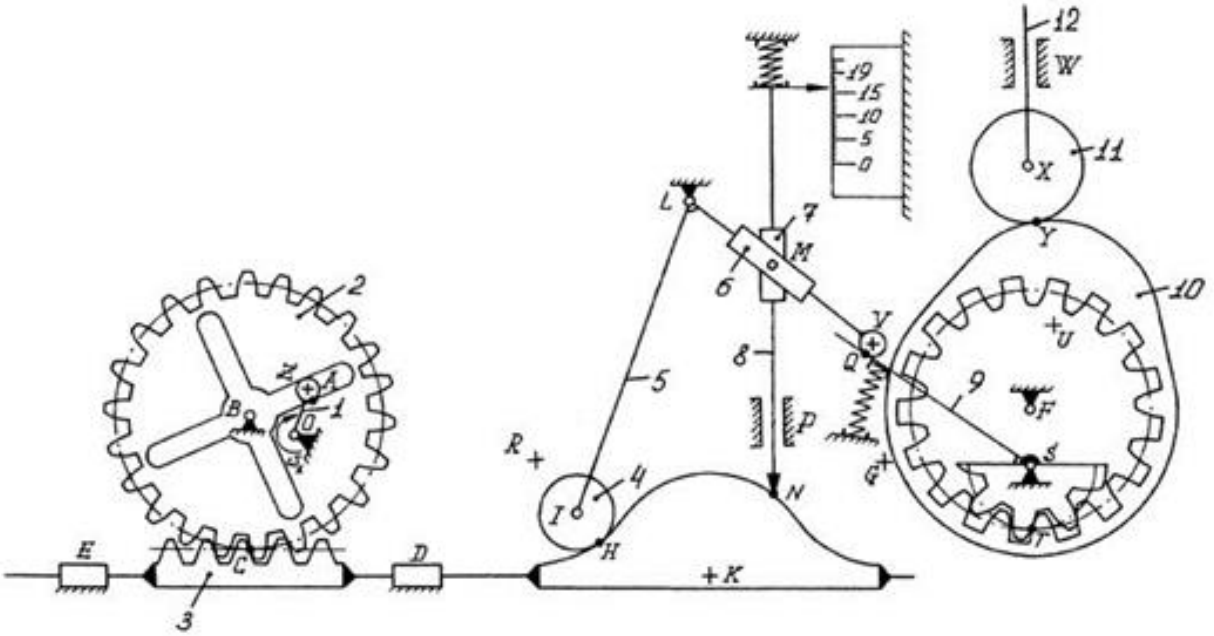
К задаче 1.1.23



К задаче 1.1.24



К задаче 1.1.25



К задаче 1.1.26

1.1.3. ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

1.1.1. W = 1; одна группа второго класса пятого вида. Механизм второго класса.

1.1.2. W = 1; три группы второго класса, первого вида. Механизм второго класса.

1.1.3. W = 1; три группы второго класса, две первого и одна третьего видов. Механизм второго класса.

1.1.4. W = 1; три группы второго класса, одна второго и две первого видов. Механизм второго класса.

1.1.5. W = 1; три группы второго класса, две первого и одна второго видов. Механизм второго класса.

1.1.6. W = 1; три группы второго класса, все первого вида. Механизм второго класса.

1.1.7. W = 1; три группы второго класса, все первого вида. Механизм второго класса.

1.1.8. W = 1; одна группа третьего класса третьего порядка. Механизм третьего класса.

1.1.9. W = 1; одна группа второго класса первого вида. Механизм второго класса.

1.1.10. W = 1; одна группа второго класса пятого вида. Механизм второго класса.

1.1.11. W = 2; круглый ролик вносит одну лишнюю степень свободы, после его устранения W = 1; одна группа второго класса второго вида. Механизм второго класса.

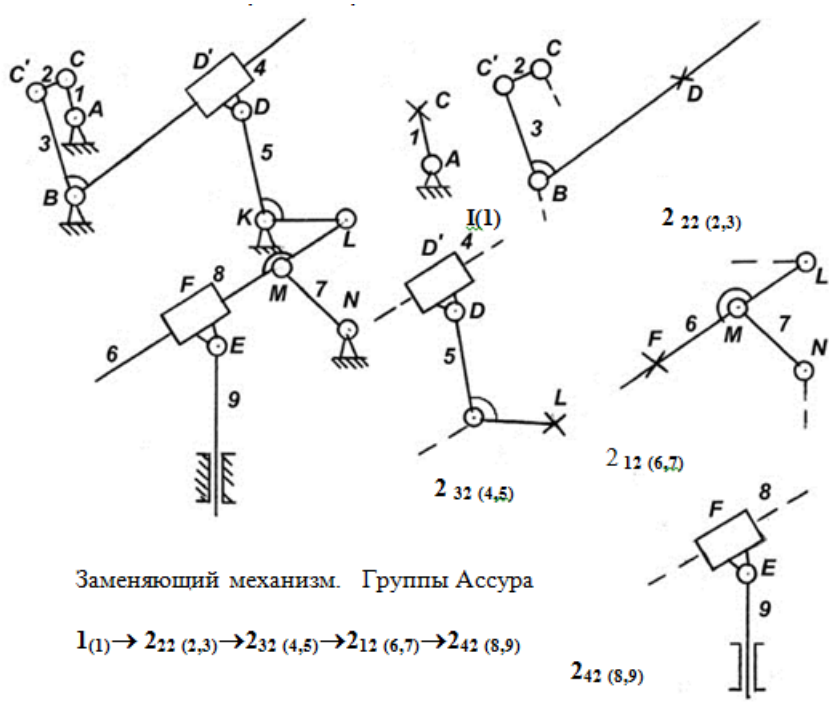
1.1.12. W = 1; одна группа третьего класса, третьего порядка и одна группа второго класса первого вида. Механизм третьего класса.

1.1.13. W = 3; два круглых ролика вносят две лишние степени свободы, после их устранения W = 1; две группы второго класса, пятого и первого вида. Механизм второго класса.

1.1.14. W = 2; пять групп второго класса, две первого, две четвертого и одна третьего видов. Механизм второго класса.

1.1.15. W = 1; четыре группы второго класса, три первого и одна второго видов. Механизм второго класса.

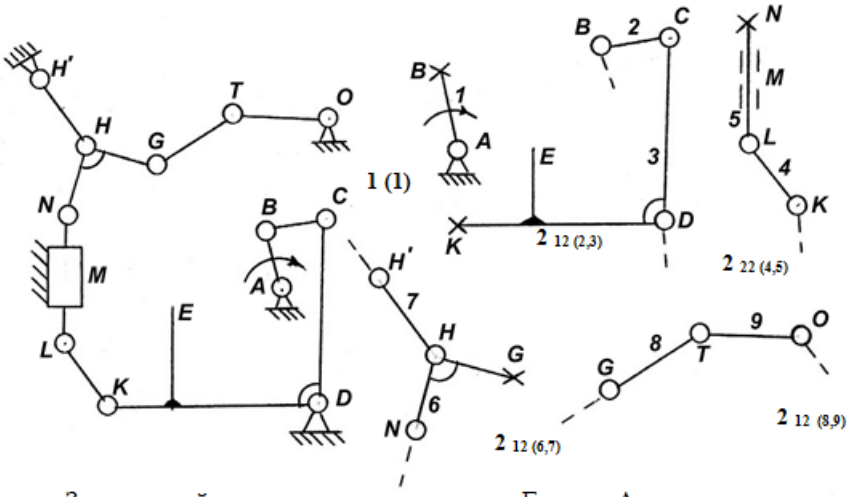
1.1.16. $W_{ИМ} = 2$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса



Заменяющий механизм. Группы Ассура

$1_{(1)} \rightarrow 2_{22\ (2,3)} \rightarrow 2_{32\ (4,5)} \rightarrow 2_{12\ (6,7)} \rightarrow 2_{42\ (8,9)}$

1.1.17. $W_{ИМ} = 2$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса

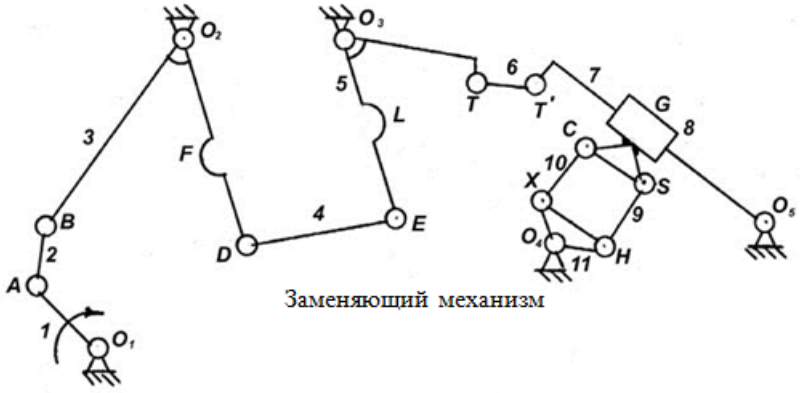


Заменяющий механизм Группы Ассура

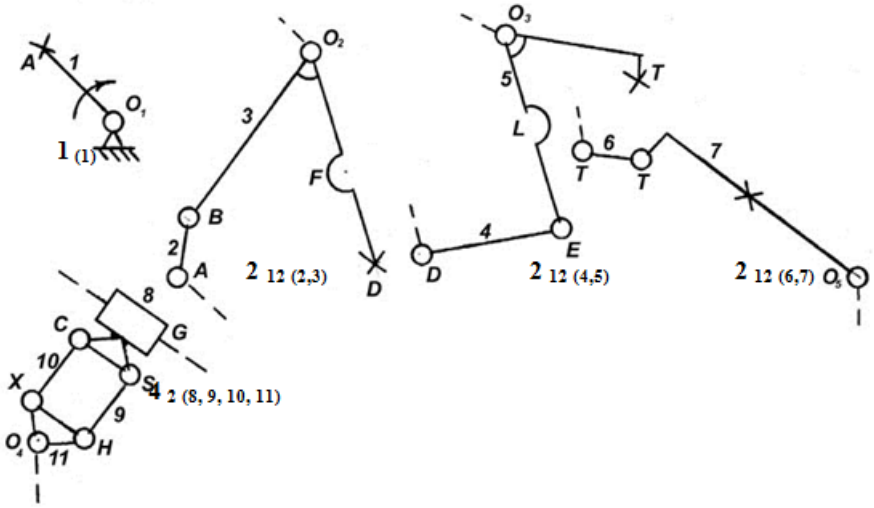
$1_{(1)} \rightarrow 2_{12\ (2,3)} \rightarrow 2_{22\ (4,5)} \rightarrow 2_{12\ (6,7)} \rightarrow 2_{12\ (8,9)}$

Формула строения

1.1.18. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 4-го класса



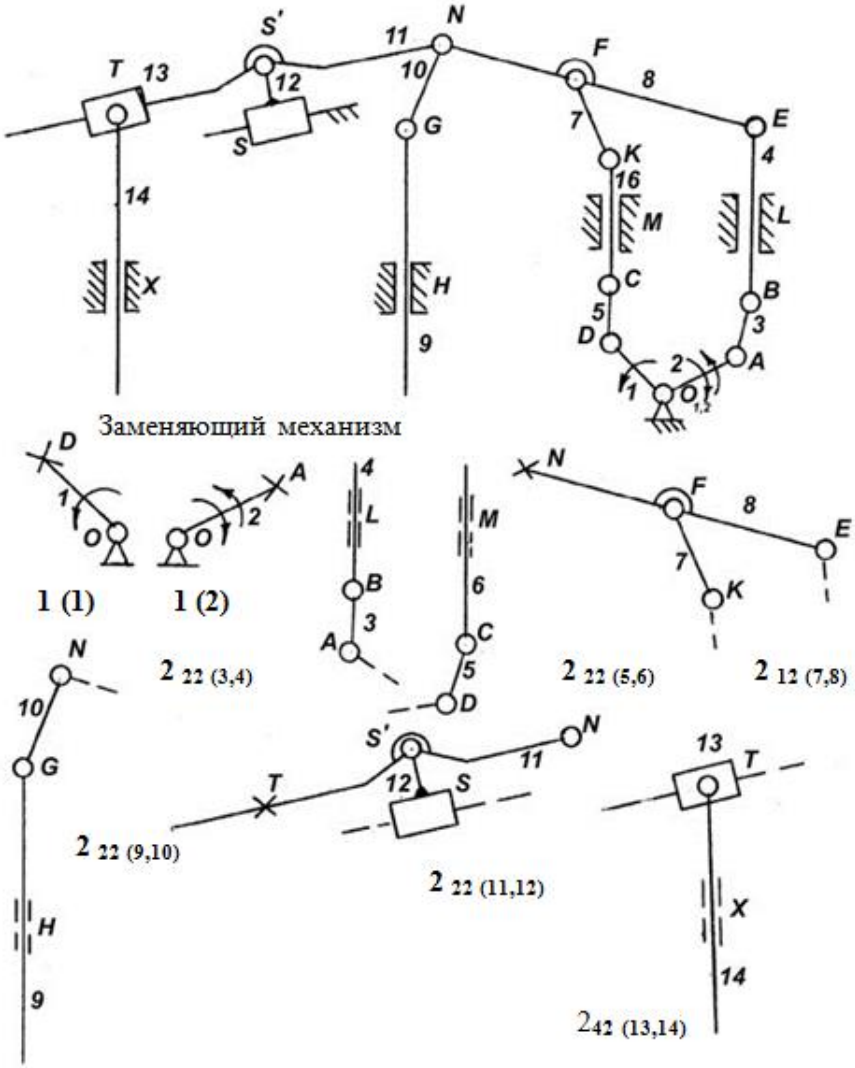
Заменяющий механизм



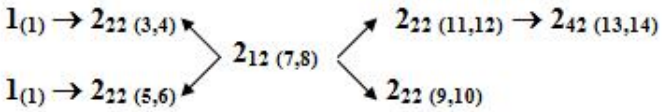
Группы Ассура

1 (1) → **2** 12 (2,3) → **2** 12 (4,5) → **2** 12 (6,7) → **4** 2 (8,9, 10, 11)

1.1.19. $W_{ИМ} = 4$; $W_{ЗМ} = 2$; Механизм 2-го класса

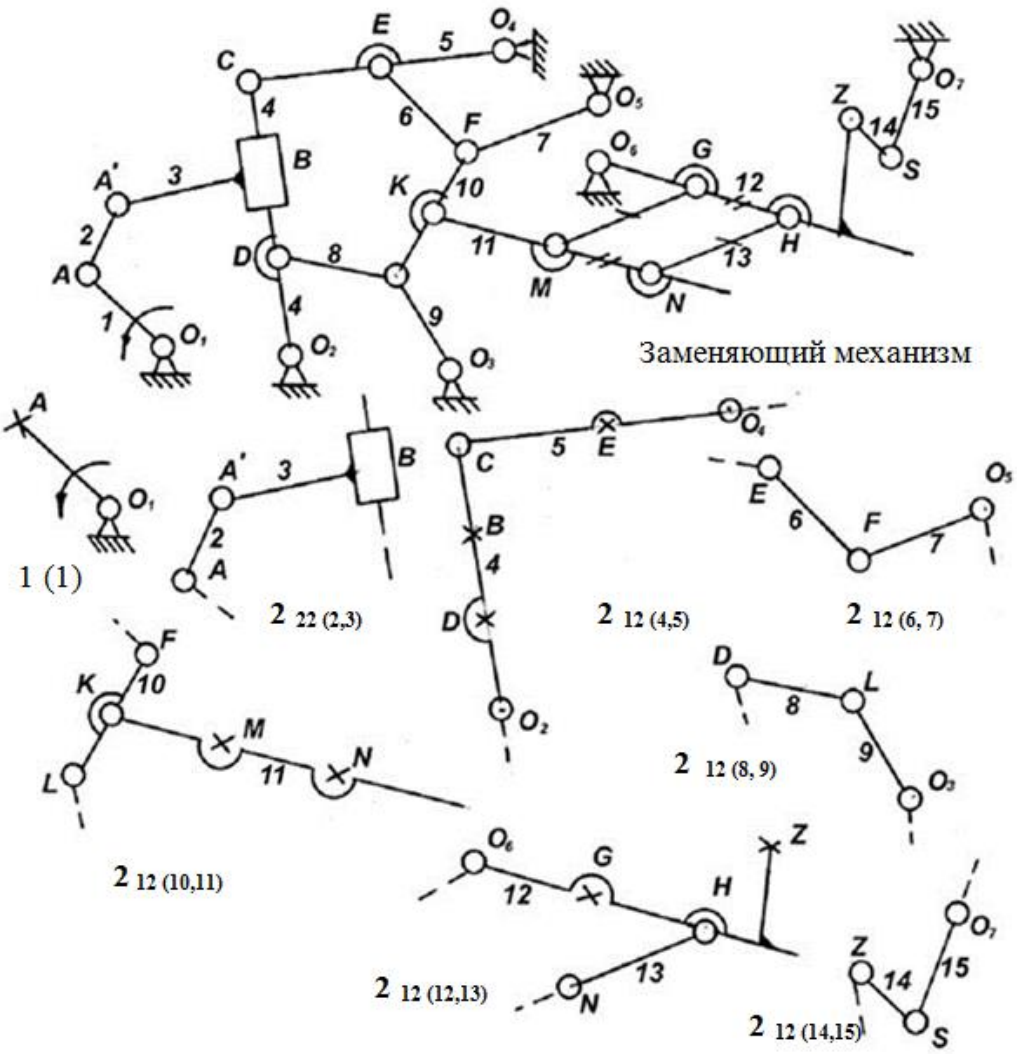


Группы Ассура



Формула строения

1.1.20. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса

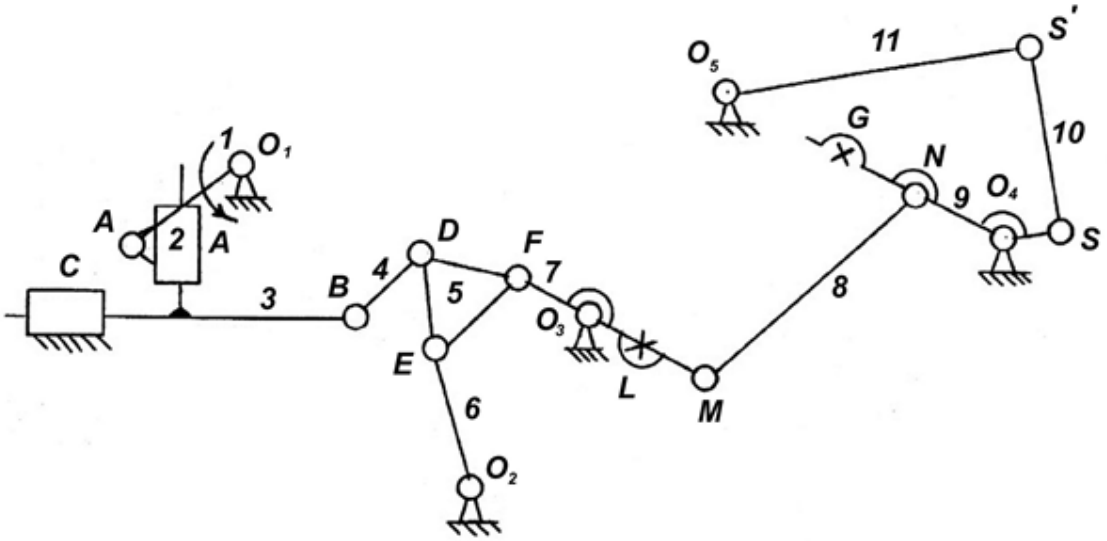


Группы Ассура

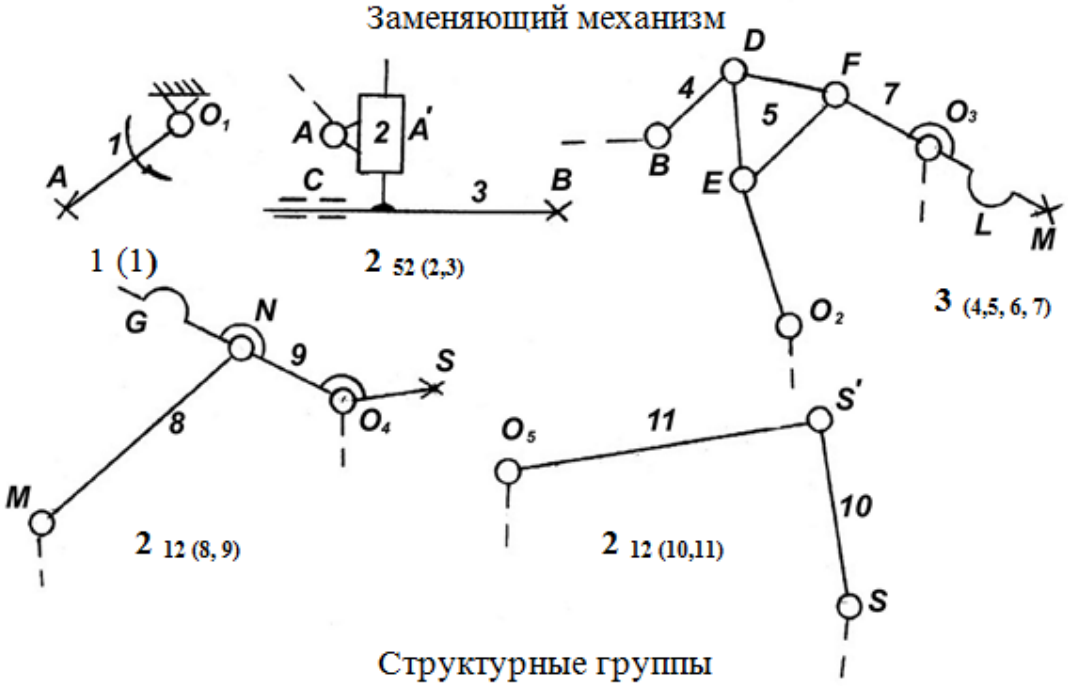
$$1_{(1)} \rightarrow 2_{22\,(2,3)} \rightarrow 2_{12\,(4,5)} \begin{matrix} \nearrow 2_{12\,(6,7)} \\ \searrow 2_{12\,(8,9)} \end{matrix} \begin{matrix} \nwarrow \\ \swarrow \end{matrix} 2_{12\,(10,11)} \rightarrow 2_{12\,(12,13)} \rightarrow 2_{12\,(14,15)}$$

Формула строения

1.1.21. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 3-го класса



Заменяющий механизм

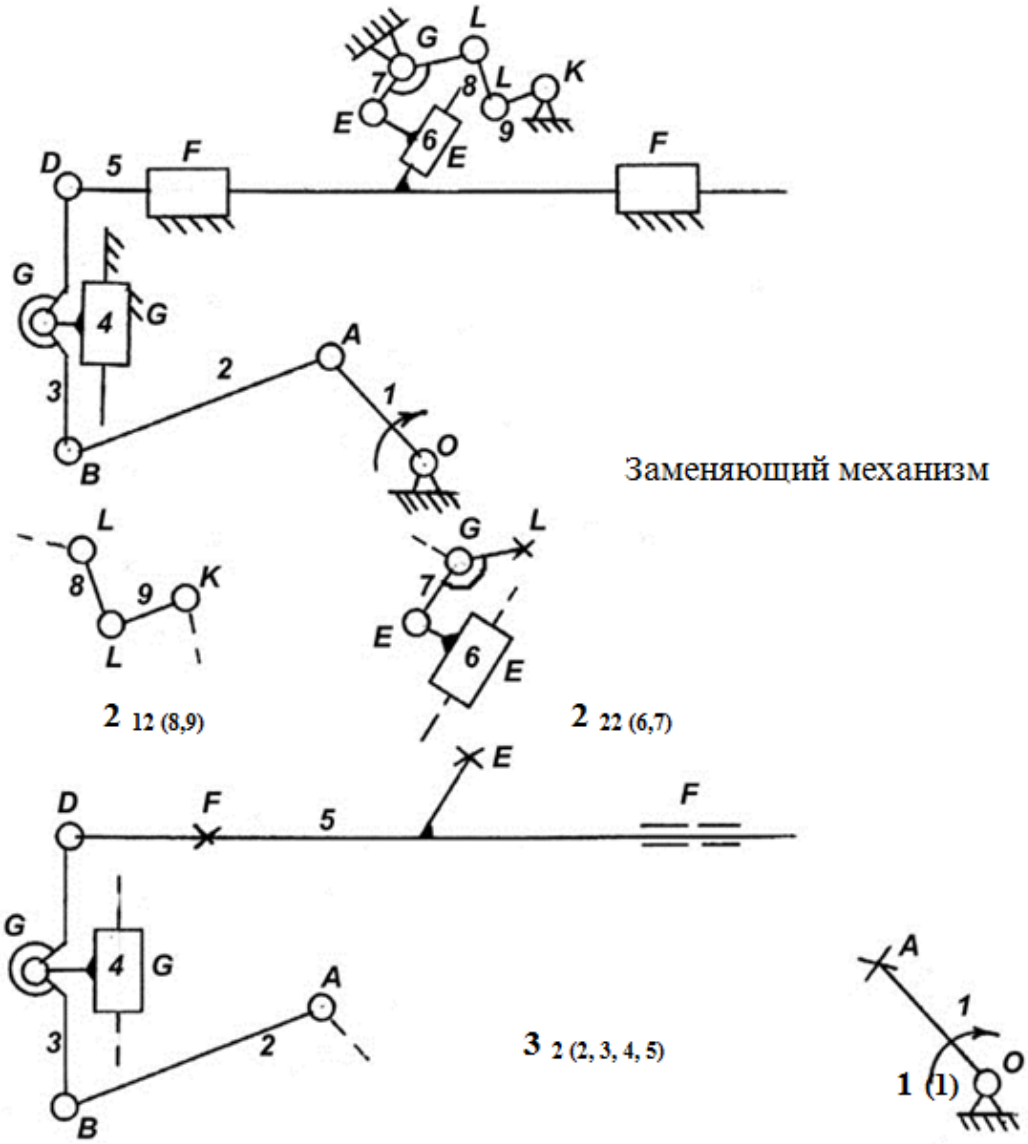


Структурные группы

1 (1) → **2** 52 (2,3) → **3** (4, 5, 6, 7) →**2** 12 (8,9) →**2** 12 (10,11)

Формула строения

1.1.22. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 3-го класса



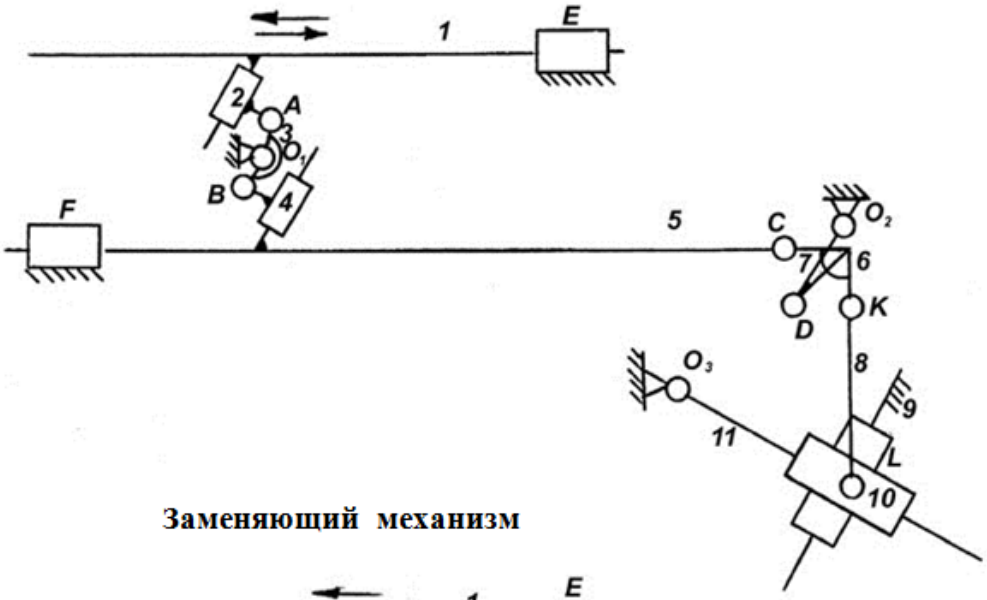
Заменяющий механизм

Структурные группы

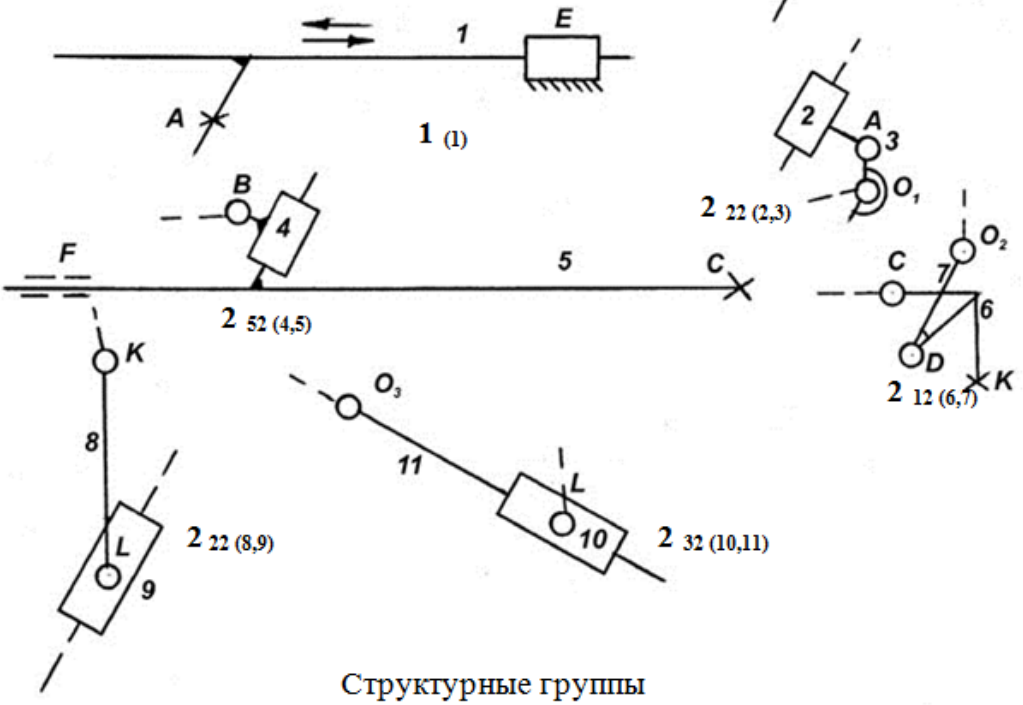
1 (1) → **3** 2 (2, 3, 4, 5) → **2**22 (6,7) → **2** 12 (8,9)

Формула строения

1.1.23. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса



Заменяющий механизм

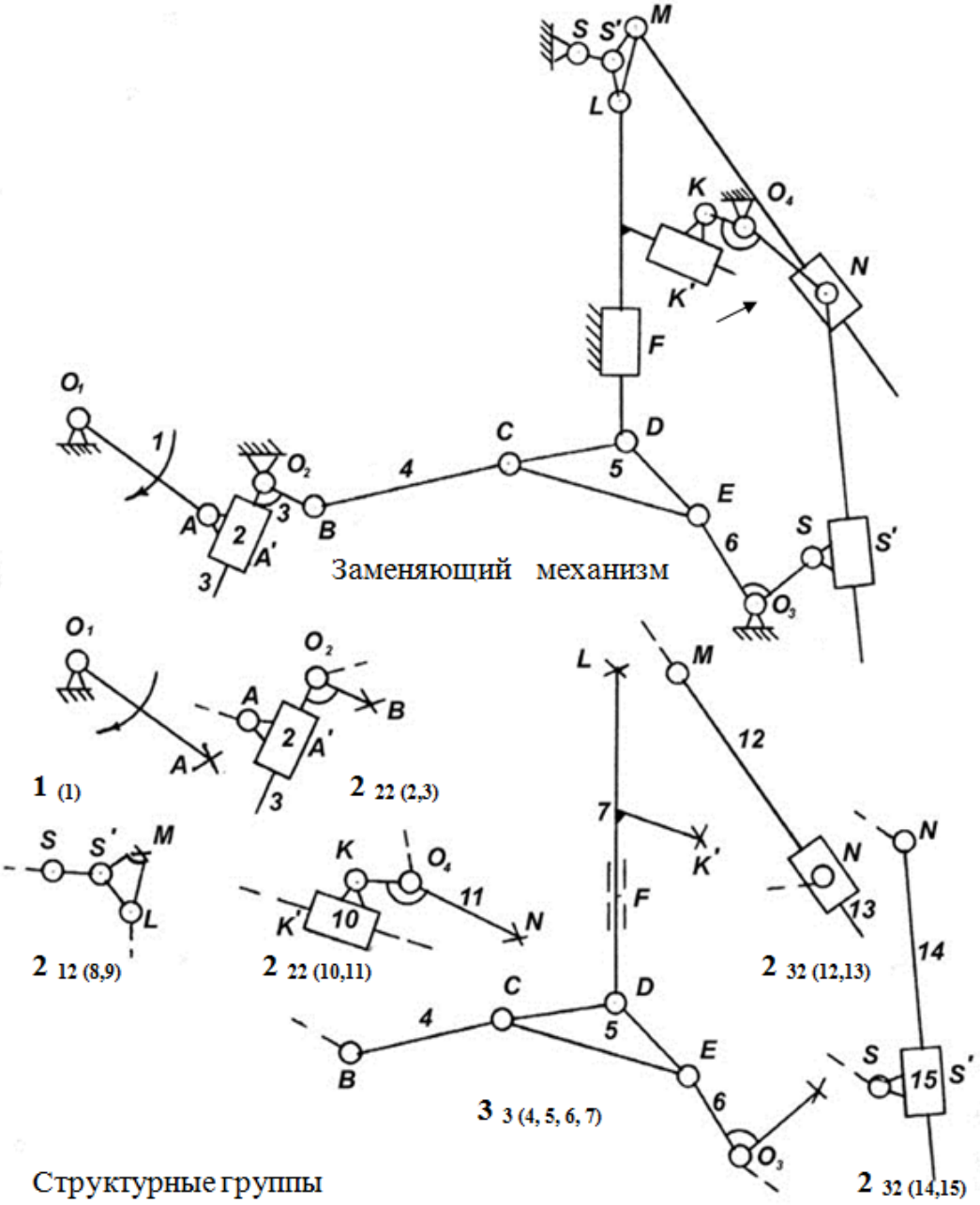


Структурные группы

1 (1) →**2** 22 (2,3) → **2** 52 (4,5) →**2** 12 (6,7) → **2** 22 (8,8) →**2** 32 (10,11)

Формула строения

1.1.24. $W_{ИМ} = 2$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 3-го класса

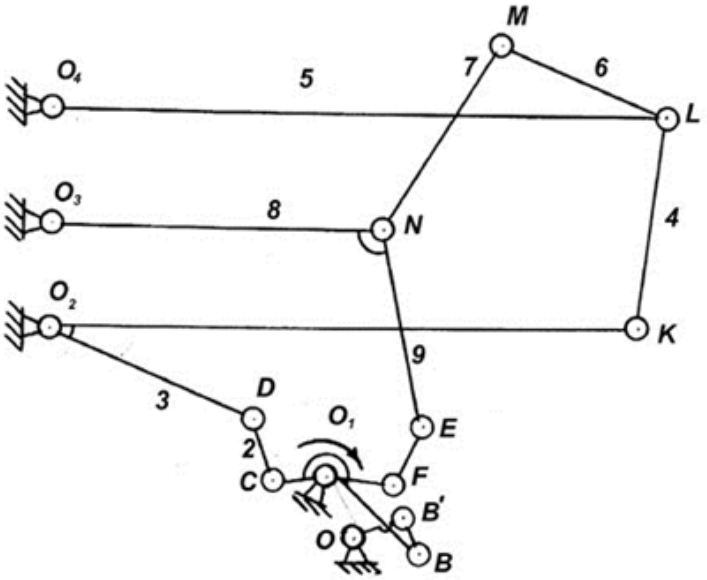


$$1\ (1) \rightarrow 2\ 22(2,3) \rightarrow 3\ 3\ (4,5,6,7) \rightarrow \begin{cases} 2\ 12\ (8,9) \rightarrow 2\ 32\ (12,13) \\ 2\ 22(10,11) \rightarrow 2\ 32\ (12,13) \\ \rightarrow 2\ 32\ (14,15) \end{cases}$$

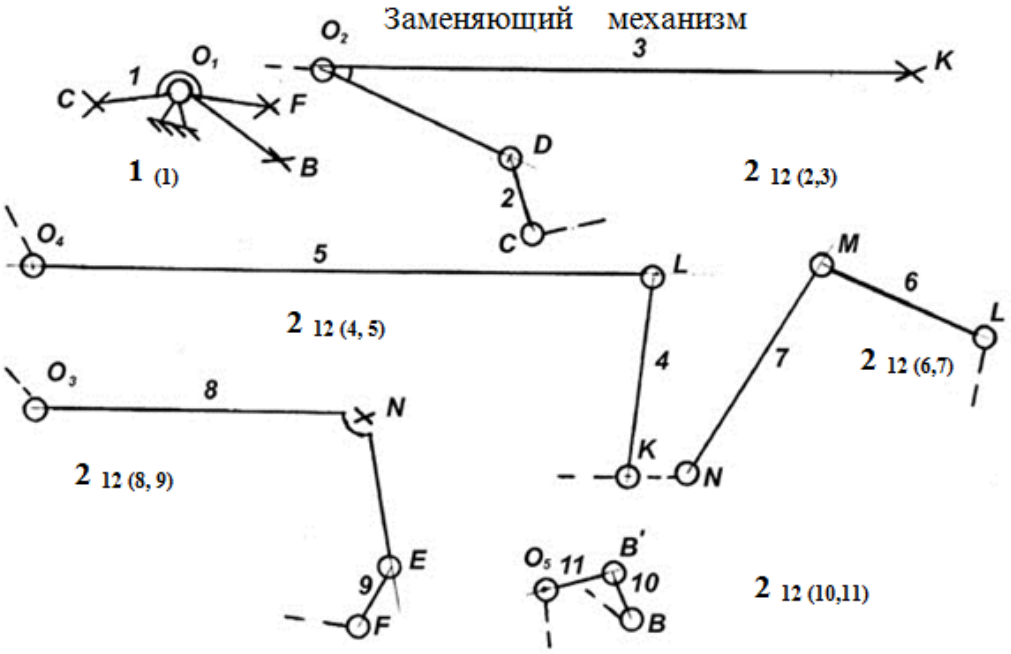
Формула строения

1.1.25. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса

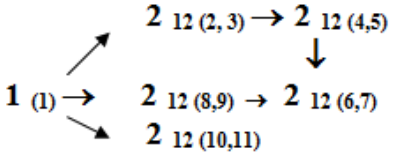
1.1.25. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса



Заменяющий механизм

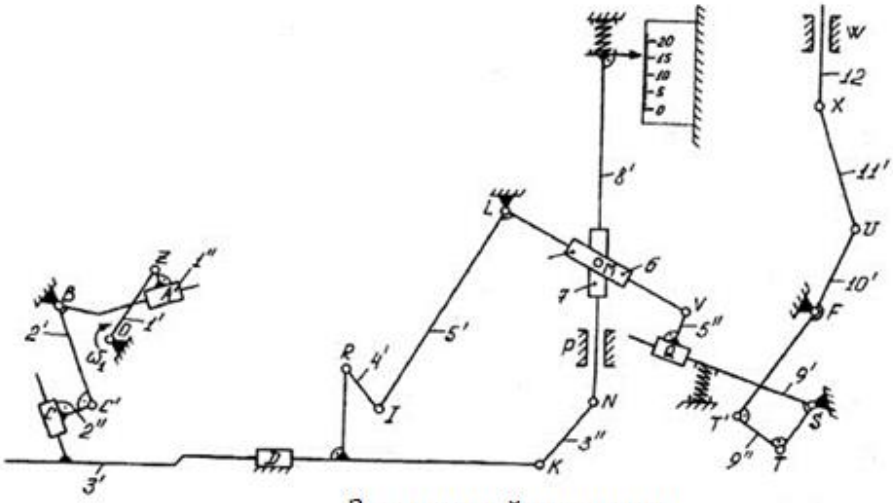


Структурные группы

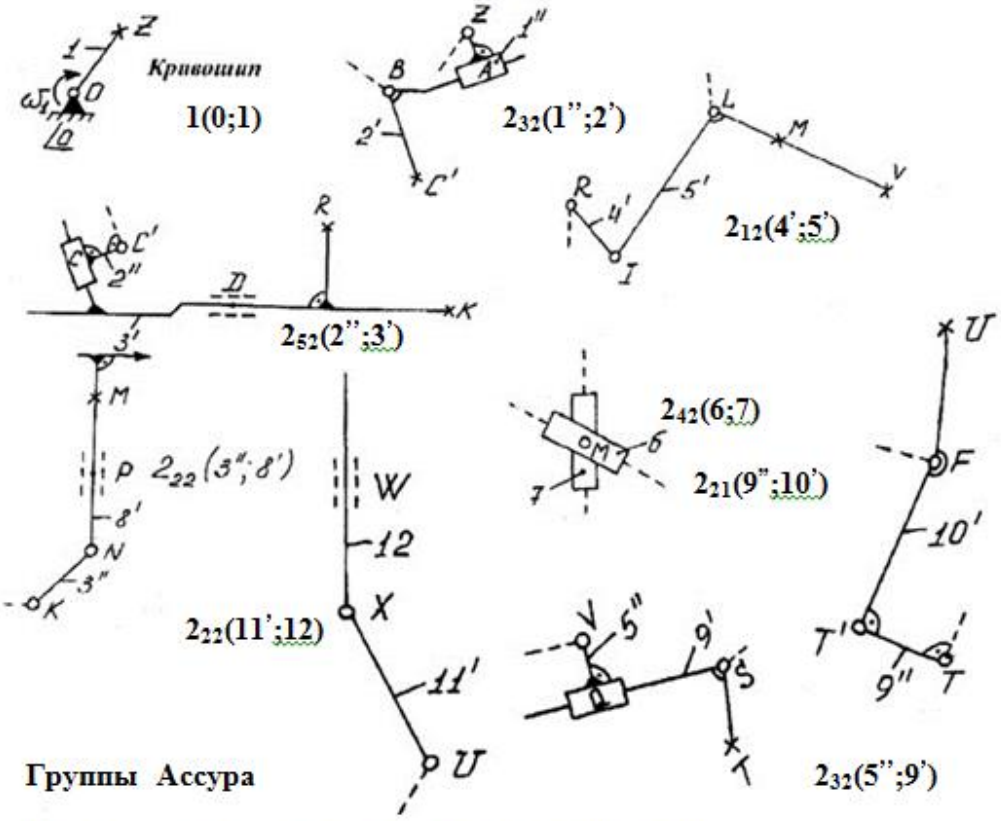


Формула строения

1.1.26. $W_{ИМ} = 1$; $W_{ЗМ} = 1$; Механизм 2-го класса



Заменяющий механизм



Группы Ассура

$1(0;1') \rightarrow 2_{32}(1'';2') \rightarrow 2_{52}(2'';3') \rightarrow 2_{12}(4';5') \rightarrow 2_{32}(5'';9')$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$

$2_{22}(3'';8') \rightarrow 2_{42}(6;7)$ $\quad 2_{12}(9'';10')$

$\downarrow$

Формула строения механизма $\quad 2_{22}(11';12)$